

DOBÓR UKŁADÓW JEZDNYCH DLA AGREGATÓW ROLNICZYCH UWZGLĘDNIAJĄCY ASPEKTY EKOLOGICZNE

Jan R. Kamiński

Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Czesław Żdanowicz

Politechnika Białoruska, Mińsk, Białoruś

Streszczenie. Przeprowadzono badania określające wzajemne oddziaływanie różnych układów jezdnych na glebach różnego typu i o różnej strukturze. Metodyka badań obejmowała wyznaczenie zależności określających prawidłowości rozkładu ciśnień w kontakcie “układ napędowy–gleba”, głębokości kolein h , ugniecenie gleby w koleinie ρ_0 , rozkład ugniecenia gleby na różnej głębokości ρ_x i głębokość ugniecionej warstwy gleby x_h . Analiza wyników badań pozwoliła na wskazanie najlepszego typu układu jezdny dla konkretnej gleby i opracowanie zaleceń pomocnych przy zestawianiu agregatów ciągnikowych, które mniej ugniatą glebę.

Słowa kluczowe: uprawa gleby, agregaty rolnicze, narzędzia uprawowe, właściwości gleby

Wstęp

Przetaczanie środków pociągowo-transportowych po glebie powoduje jej deformację. Podczas deformacji gleby zachodzi przemieszczanie cząstek i agregatów glebowych, wyciskanie wody i powietrza z porów, a także ściśnięcie pęcherzyków powietrza, zakleszczone w porach. Występujące przemieszczenie cząstek, rozpad elementów glebowych i wyciskanie z gleby powietrza powodują nieodwracalne odkształcenia, a ściśnięte w porach woda i powietrze odkształcenia sprężyste, to jest, znikające po zdjęciu obciążenia.

Zagęszczenie gleby układem jezdny przejawia się pozostawieniem koleiny. Głębokość koleiny jest sumą deformacji poszczególnych warstw gleby. Przy tym, warstwa wierzchnia ścisnana jest w większym stopniu, i z tego powodu gęstość gleby na głębokości rozkłada się nierównomiernie.

Grubość warstwy ugniecionej zależy nie tylko od wielkości nacisku, ale i od rozmiaru powierzchni nacisku układu jezdny, obciążenia na pojedyncze podparcie, prędkości jazdy. Dlatego, podczas oceny ugniatającego oddziaływania układów jezdnych agregatów maszynowo-ciągnikowych na glebę, należy znać ciśnienie w kontakcie koło-gleba, głębokość koleiny (śladu) h , gęstość gleby na śladzie ρ_0 , rozkład gęstości gleby na głębokości ρ_x i grubość ugniecionej warstwy x_h .

Układy jezdne maszyn rolniczych zagęszczają (ugniatają) glebę do wartości, znacznie przekraczającej gęstość optymalną. Z tego powodu plonowanie roślin uprawnych zmniejsza się w danym sezonie, jak również w latach następnych. Dlatego problem ugniatania gleby jest również z zakresu ekologii.

Spośród proponowanych sposobów i dróg obniżenia ugniecenia gleby wymienić należy: obniżenie ciśnienia powietrza w ogumieniu, bliźniakowanie kół, stosowanie wieloosiowych kołowych i gąsienicowych układów jezdnych, polepszenie właściwości deformacyjnych ogumienia i inne. Jednakże przeprowadzona analiza wykazała sprzeczność rezultatów badań, przy stosowaniu niektórych sposobów obniżenia oddziaływania układów jezdnych na glebę.

Między innymi jest niejasne, przy jakich stanach gleby dla ograniczenia ugniecenia można stosować koła bliźniacze, ciągnik gąsienicowy, wieloosiowy układ jezdny, specjalne urządzenia dla zwiększenia powierzchni nacisku układu jezdny. Układy jezdne niejednakowo wpływają na ugniecenie warstwy ornej i podglebia. Wybór właściwego układu jezdny będzie także sprzyjać ograniczeniu zapotrzebowania energetycznego na przetwarzanie agregatu.

Agroekologiczna koncepcja układów jezdnych mobilnej techniki rolniczej polega na opracowaniu elastycznego układu, składającego się z konstrukcyjno-technologicznych struktur, pozwalających adaptować agregat ciągnikowo-maszynowy w zmieniających się warunkach eksploatacji i zapewniających ekologiczne oddziaływanie na glebę. W tym celu, należy przeprowadzić badania procesu wzajemnego oddziaływania różnych układów jezdnych i gleb różnego typu i stanu siedliska rośliny uprawnej.

Metody badawcze

Metodyka badań przewidywała wyznaczenie rozkładu ciśnień w układzie „koło–gleba”, głębokości śladu (koleiny) h , gęstości gleby na śladzie ρ , rozkładu gęstości na głębokości ρ_x i grubości ugniecionej warstwy x_n . Przy tym prowadzono analizę rezultatów i dobór racjonalnego układu jezdny dla danej gleby.

Podczas badań wzajemnego oddziaływania układów jezdnych maszyn z odkształcalnym podłożem i określania głębokości śladu wykorzystano zależności występujące między naprężeniami ściskającymi i deformacją gleby. Analiza procesu deformacji gleby wykazała, że zależność między naprężeniami ściskającymi i osiadaniami deformatora, w przypadku ogólnym posiada charakter typu S [Zołotorevskaja 1980; Boikov i in. 1998]. Dla przypadków szczególnych zależność „odkształcenie – naprężenie ściskające – osiadanie” opisać można bardziej prostymi zależnościami.

Dla gleby, przygotowanej pod siew, krzywa ugniatania ma wklęsły charakter, w odniesieniu do osi naprężeń [Boikov, Żdanowicz, Orda 1998],

$$\sigma = \frac{a}{b} \operatorname{tg}(abh), \quad (1)$$

gdzie:

$$a = \sqrt{k}; k \text{ – współczynnik objętościowego odkształcenia gleby, } b = \pi / (2h_{ugn} \sqrt{k}),$$

- $h_{ugn} = H(\varepsilon_0 - \varepsilon_{\min}) / ((1 + \varepsilon_0)[1 - 2\nu(1 + \varepsilon_{\min})])$ – graniczna wielkość deformacji,
 H – grubość warstwy ornej,
 ε_0 – współczynnik porowatości gleby przed obciążeniem,
 ε_{\min} – minimalna wartość współczynnika porowatości gleby,
 ν – współczynnik bocznego rozszerzenia gleby, dla przypadku deformacji z ograniczoną możliwością bocznego rozszerzania.

Dla ścierniska – jej wypukły charakter najczęściej opisywany jest zależnością funkcyjną, zaproponowaną przez W. W. Kacygina,

$$\sigma = p_0 t h \left(\frac{k}{p_0} h \right), \quad (2)$$

gdzie:

p_0 – granica wytrzymałości gleby.

Na grafiku zależności „naprężenie – odkształcenie” w przypadku ogólnym w środkowej części znajduje się odcinek, mało różniący się od prostoliniowego. Wychodząc z tego można założyć, że dla gleb określonego rodzaju i stanu można wykorzystywać zależność liniową, między naprężeniem i odkształceniem,

$$\sigma = kh. \quad (3)$$

Podczas jazdy ciągnika gąsienicowego gleba obciążana jest kołami – rolkami i częściowo lub w pełni odciążana jest w przestrzeni między rolkami. Także gleba wielokrotnie jest obciążana podczas ruchu kół ciągnika, po tym samym śladzie, szczególnie przy wielosiowym kołowym układzie jezdnym. Narastanie osiadania (głębokości śladu) deformatora przy powtórnych obciążeniach, w następstwie i głębokość koleiny pod układem jezdym, zależy od postaci i stanu gleby. Z uwagi na wytrzymałość (odporność) gleby na powtórne obciążenia, gleby podzielić można na silnie i mało wytrzymałe. Głębokość koleiny (suma kolejnych osiadań) h_n określana jest następującymi zależnościami [Boikov, Żdanowicz, Orda 1998]:

– dla gleb związanych z jednakowymi właściwościami na głębokości (ściernisko),

$$h_n = \frac{p_0}{k} \text{Arch} \left(n^B / \sqrt{1 - \sigma^2 / p_0^2} \right), \quad (4)$$

gdzie:

B – współczynnik nagromadzenia kolejnych ugnieceń dla gleb związanych,
 n – liczba obciążeń,

– dla gleb z twardym podłożem (pole, przygotowane pod zasiew),

$$h_n = \frac{1}{ab} \text{Arc cos} \left(n^{-B_1} / \sqrt{1 + (b^2 / a^2) \sigma^2} \right), \quad (5)$$

gdzie:

B_1 – współczynnik nagromadzenia kolejnych ugnieceń dla gleb z twardym podłożem.

Przy powtórnych obciążeniach taką samą siłą słabo wytrzymałych gleb (ściernisko) wzrost naprężeń od cyklu do cyklu jest nieznaczny, a narastanie odkształcenia (osiadania) deformatora całkowicie nieznaczne. Narastanie osiadania deformatora na takich glebach przy powtórnych obciążeniach spełnia zależność:

$$h_n = \frac{p_0}{k} (1 + k_u \lg n) \text{Arth}(\sigma/p_0) \quad (6)$$

gdzie:

k_u – współczynnik intensywności narastania deformacji.

Zależność między naprężeniem i powtórными deformacjami opisywana jest funkcją odinkami ciągłą. Funkcja $\sigma = f(h)$ przy każdym kolejnym obciążeniu spełnia zależność tangensa hiperbolicznego. Zwiększenie wytrzymałości (odporności) w początkowym okresie każdego kolejnego obciążenia uwzględniano zmianą współczynnika odkształcenia objętościowego, który zależy od charakteru przebiegu procesu deformacji w początkowym okresie. Ustalono, że warunkowy (względny) współczynnik odkształcenia objętościowego przy $n - m$ obciążeniach k_n , wyznaczać można z następującej zależności [Kacigin i in. 1982]:

$$k_n = k / [k_u \lg(n/(n-1))]. \quad (7)$$

Podczas analizy procesu gromadzenia kolejnych ugnieć gleby, przygotowanej pod siew, z twardym podglebkiem, o dużej wilgotności, uwzględnia się także ugniecenie (osiadanie) podglebia. Wielkość ugniecenia gleby po n obciążeniach wyznacza się wtedy z zależności [Bojkov i in. 1998]:

$$h_n = \frac{1}{ab_1} (1 + k_u \lg n) \text{Artg} \left(\frac{b_1}{a} \sigma \right), \quad (8)$$

gdzie:

$$b_1 = (\text{Arccos} \sqrt{k/k_{\max}}) / (\sqrt{k} h_m),$$

k_{\max} – maksymalna wartość współczynnika odkształcenia objętościowego (ściśnięcia).

Dla zależności liniowej “naprężenie – odkształcenie” głębokość koleiny określana jest równaniem:

$$h_n = \frac{\sigma}{k} (1 + k_u \lg n). \quad (9)$$

Na proces tworzenia koleiny zespołem gąsienicowym wpływ mają także czynniki reologiczne (czas opóźnienia deformacji, okres relaksacji), zjawiska związane z wibracją i zmiana ustawienia cząstek gleby podczas powtórnych obciążeń [Boikov i in. 2000].

Wpływ prędkości ruchu na głębokość śladu przejawia się głównie w tym, że ze zwiększeniem prędkości naprężenia kontaktowe zmniejszają się dzięki zmniejszeniu czasu kontaktu koła z glebą. Naprężenia kontaktowe określone są następującą formułą [Agejkin 1972]:

$$\sigma = q / (1 + B_V V / L_x), \quad (10)$$

gdzie:

- q – nacisk w kontakcie koła z glebą,
- V – prędkość jazdy,
- B_V – doświadczalny współczynnik,
- L_x – rzut na płaszczyznę poziomą długości kontaktu koła z glebą.

Zależność rozkładu ciśnienia w kontakcie „koło (gąsienica) – gleba” dla gumowej gąsienicy określano według metodyki opisanej w pracy [Zdanowicz 1999], gąsienicy metalowej – [Vasilev i in. 1969], koła – [Levin, Boikov 1984].

Podczas badania ugniecenia (zagęszczenia) zwięzłych gleb uwzględniano, że przy ich deformacji łącznie z ugnieceniem występuje i przesunięcie. Przy eksponentyjnym prawie rozkładu naprężeń na głębokości otrzymano następujące równanie różniczkowe zagęszczenia (ugniecenia) gleby:

$$dp_x = -k_1 \beta \sigma e^{-\beta x} dx,$$

gdzie:

- k_1 – współczynnik zagęszczenia,
- β – współczynnik rozkładu naprężeń.

W rezultacie jego rozwiązania z uwzględnieniem wartości współczynnika zagęszczenia (ugniecenia) otrzymano zależność rozkładu gęstości gleby na głębokości [Boikov i in. 1997]:

$$\rho_x = \rho_n \left(1 + \frac{\beta}{k} \sigma e^{-\beta x} \right), \quad (11)$$

gdzie:

- ρ_x – gęstość gleby na głębokości x ,
- ρ_n – początkowa gęstość gleby.

Zależność gęstości wierzchniej warstwy gleby od naprężenia kontaktowego posiada postać:

$$\rho_0 = \rho_n \left(1 + \frac{\beta}{k} \sigma \right). \quad (12)$$

Grubość zagęszczonej (ugniecionej) warstwy gleby wynosi:

$$x_h = \frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{\sigma}{\sigma_h} \right), \quad (13)$$

gdzie:

- σ_h – naprężenie, przy którym zachodzi tylko odkształcenie sprężyste.

Podczas badania ugniecenia gleby, przygotowanej pod siew, zakładano, że deformuje się tylko warstwa uprawna gleby. W rezultacie otrzymano następujące równanie gęstości wierzchniej warstwy gleby:

$$\rho_0 = \rho_n \frac{H - 2vh}{H - h} + \frac{k_1 \sigma}{H - h} \left[(H - h) + \frac{1}{\beta} (e^{-\beta(H-h)} - 1) \right]. \quad (14)$$

Wartość wielkości deformacji gleby h wstępnie wyznaczana jest ze wzoru (1) lub (5) w zależności od liczby obciążeń.

Wielkość zagęszczenia (ugniecenia) warstwy wierzchniej silnie wzmacniających się połączeń gleby przy powtórnych obciążeniach wynosi:

$$\left(\frac{\rho_0}{\rho_{II}}\right)_n = 1 + \frac{\beta}{k} p_0 t h \left(\text{Arch} \frac{n^B}{\sqrt{1 - \sigma^2 / p_0^2}} \right). \quad (15)$$

I tak, na glebach zwięzłych z jednakowymi na głębokości właściwościami fizyko-mechanicznymi, zagęszczenie (ugniecenie) rozprzestrzenia się na znaczną głębokość, to stopień oddziaływania układów jezdnych należy oceniać nie tylko zagęszczeniem (ugnieceniem) warstwy wierzchniej, ale i całkowitą grubością zagęszczonej (ugniecionej) warstwy gleby.

Grubość zagęszczonej warstwy gleby, przy powtórnych obciążeniach wynosi:

$$x_{hm} = \frac{1}{\beta} \ln \left[\frac{p_0}{\sigma_h} t h \left(\text{Arch} \frac{n^B}{\sqrt{1 - \sigma^2 / p_0^2}} \right) \right]. \quad (16)$$

Wyniki badań

Wyniki badań pozwoliły sformułować zalecenia dla agregatowania ciągników z narzędziami uprawowymi zapewniającego ograniczenie stopnia ugniatającego oddziaływania na glebę. Celem zmniejszenia zagęszczenia (ugniecenia) gleby agregatem do orki wskazane jest stosowanie gąsienicowego lub wieloosiowego kołowego układu jezdnego. Stosując traktor z wąskimi gąsienicami naprężenia koncentrują się w warstwie ornej gleby. Dlatego orkę lepiej jest wykonywać agregatami z ciągnikami gąsienicowymi lub kołowymi wieloosiowymi, niż ciągnikami kołami z kołami bliźniaczymi.

Przy formowaniu agregatów siewnych, należy wychodzić z założenia, że gleba przygotowana pod siew, ma wysoką właściwość pochłaniania energii, wysoki stopień rozprzestrzeniania się naprężeń. W danym przypadku obciążenie pionowe przejmowane jest głównie przez warstwę orną gleby.

Podstawowym celem przy doborze układów jezdnych agregatów siewnych jest obniżenie nacisków na glebę. Należy także uwzględnić ustalony podczas badań fakt znacznego przyrostu głębokości koleiny (śladu) i gęstości gleby przy powtórnych przejściach kół. Dlatego, w tym przypadku, w celu ograniczenia nacisków na glebę zaleca się zwiększenie rozmiaru kół, a nie liczby kół, poruszających się tym samym śladem jedno za drugim. Tak, więc, w agregatach siewnych zaleca się stosować: koła bliźniacze na ciągnikach i siewnikach, koła dużych rozmiarów, szczególnie gumienie niskociśnieniowe.

Wnioski

1. Przy formowaniu zestawów do orki, w pierwszej kolejności, należy stosować ciągniki gąsienicowe i pociągowe środki kołowe z wieloosiowym układem jezdnym, ponieważ mniej zagęszczają glebę niż ciągniki kołowe zwykłe i z kołami bliźniaczymi.
2. W agregatach siewnych zaleca się stosować: koła bliźniacze na ciągniku i siewniku, stosować ogumienie dużych rozmiarów, przede wszystkim opony niskociśnieniowe.

Bibliografia

- Zolotarevskaja D.I.** 1980. Zavisimost meždu szimajuščimi napriazhenijami i osadkoj počvy. *Mechanizacija selskogo chozjajstva*. Nr 2, s. 30-32.
- Bojkov V.P., Ždanović Č.I., Orda A.N.** 1998. Obosnovanie zavisimosti meždu szimajuščimi napriazhenijami i osadkoj počvy. V Międzynarodowe Sympozjum "Ekologiczne aspekty mechanizacji produkcji roślinnej". IBMER Warszawa, s. 161-168.
- Kacygin V.V.** 1964. Osnovy teorii vybora optimalnych parametrov mobilnych selskochozjajstvennych mašin i orudnj. *Voprosy selskochozjajstvennoj mechaniki*. Minsk: Uradžaj, t. 13, s. 5-147.
- Boikov V.P., Ždanović Č.I., Orda A.N.** 1998. Regularities of soil rewsistance to compression under repeated loadings. *Papers of the V International Conference "MOTAUTO 98"* Sofia.
- Kacigin V.V., Gorin G.S., Zenković A.A. i inni.** 1982. Perspektivnye mobilnye energetičeskie sredstva (MES) dlja selskochozjajstvennogo proizvodstva. Minsk, Nauka i Technika, s. 272.
- Boikov V.P., Ždanović Č.I., Orda A.N.** 2000. Vlijanie skorosti dviženija mnogoopornogo dvižitela na głubinu sleda. 2000. VI Międzynarodowe Sympozjum "Ekologiczne aspekty mechanizacji produkcji roślinnej". IBMER Warszawa, s. 147-153.
- Agejkin J.S.** 1972. Vezdechodnye kolesnye i kombinirovannye dvižiteli. Moskwa. Mašinostroenie, s. 184.
- Ždanowicz Cz.** 1999. Określenie rozkładu nacisku gąsienicy gumowej na glebę. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Warszawa. Nr 1(23), s. 13-19.
- Vasilev A.V., Dokućeva E.N., Utkin-Ljubovcov O/L/** 1969. Vlijanie konstruktivnych parametrov gusinečnogo traktora na ego tžagovo-scepnje svojstva. Moskwa. Mašinostroenie, s. 192.
- Levin M.A., Boikov V.P.** 1984. Issledovanie stacionarnogo kaćenija deformiruemogo koleasa po deformiruemu osnovaniju. *Teoretičeskaja i prikladnaja mechanika*. Minsk Vyššaja Szkoła, s. 70-75.
- Boikov V.P., Ždanović Č.I., Orda A.N.** 1997. Agroecological concept of running systems of mobile agricultural machinery. *Belt and Tire Traction in Agricultural Vehicles*. SP – 1291. SAE, p. 109-113.

AGROECOLOGICAL STRATEGY FOR CHOOSING RUNNING SYSTEMS FOR AGRICULTURAL MACHINERY

Summary. Agroecological strategy for choosing traction systems for mobile agricultural machinery understands creation of a flexible system consisting of design, technological and operational units which allow to adapt a tractor/implement system to varying operation requirements and to provide ecologically sound contact with soil. With the above considerations in view, the process of interaction of different running systems with soils of different type was explored. The procedure included definition of (a) pressure distribution pattern in “propulsive device-soil” contact area σ , (b) track depth value h , (c) track soil densities ρ_0 , soil density distribution at a certain depth ρ_x , (d) height of compacted layer x_h . Then the results were analyzed and an efficient propulsive device for particular soil type was chosen. Research substantiated the recommendations for forming tractor/implement systems with the reduced soil compaction effect. To lower compaction impact of tilling tractor/implement systems it is expedient to employ caterpillars or multi-axis wheels. When using tractors with narrow caterpillar tracks, the stress concentrates in the topsoil. Therefore when forming tilling tractor/implement systems, caterpillar tractors and traction devices with multi-axis wheel system should be preferred as contrasted to twin-wheel tractors. When forming sowing tractor/implement systems, it should be taken into account that after presowing cultivation the soil has a high energy absorption, or high distributive, ability (it has major values of stress distribution coefficient). In this case the vertical load is assumed primarily by the topsoil. The basic task for the running systems of sowing tractor/implement systems is to reduce pressure on soil. Besides, test-proved considerable increase in track depth and soil densities at repeated wheel passes should be also taken into consideration. Therefore, in this case, with the aim of soil pressure reduction it is recommended to augment the size of wheels, instead of having more wheels following each other along the same track. Thus dual tires or big-sized tires, especially with high elasticity, are recommended for tractors and seeders when creating sowing tractor/implement systems.

Key words: soil cultivation, agricultural machinery, soil property

Adres do korespondencji:

Jan R. Kamiński: e-mail: jan_kaminski@sggw.pl
Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
ul. Nowoursynowska 164
02-787 Warszawa